

УДК 621.771.63

**A. B. АХЛЕСТИН, В. Н. ЛЕВЧЕНКО****ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОНКОСТЕННОЙ БАЛКИ  
КОРОБЧАТОЙ ФОРМЫ С НАКЛОННЫМИ ГОФРАМИ НА БОКОВЫХ СТЕНКАХ**

Отмечается интенсивное развитие производства тонкостенных гнутых профилей из рулонного проката с современными покрытиями. Наибольшие объёмы металлопродукции использует стройиндустрия (балки, стойки, раскосы и пр.). В связи со склонностью тонкого металла к дефектообразованию рассмотрены способы упрочнения как заготовки, так и непосредственно формируемого в вальцах профиля. Выявлены причины и природа образования различных изломов, в том числе периодически повторяющихся. Изломы на подгибаемых полках профиля имеют вид изогнутых несимметричных гофров. Открытой частью они расположены на кромке полки, а сходящейся – соединены с местом изгиба полки со стенкой. Изломы на боковых стенках, ограниченные местами её изгиба с полкой и нижней стенкой, образуют относительно прямые глухие гофры, расположенные под углом примерно 45°. Расстояния между гофрами (шаг) одинаковые и равны высоте профиля. Таким образом, изломы на полке и изломы на стенке возникают в результате локальной потери устойчивости металла. Причиной этому является ужесточение режима формовки. Изломы на полке искажают форму и размеры не только её самой, но и профиля в целом (продольный и поперечный изгибы), являясь дефектными признаками. Изломы же в виде прямых гофров, расположенных на линиях наибольших касательных напряжений стенок профиля и являющихся, по сути, упрочняющими элементами, называть дефектами не корректно. Особенности технологии изготовления балки коробчатой заключаются в следующем. Само наличие наклонных гофров на профиле можно считать особенностью, поскольку до сего времени не встречались на практике профили, производимые формовкой в вальцах с такими гофрами. Впервые предложено полученные путем потери локальной устойчивости стенки наклонные гофры рассматривать как упрочняющие профиль элементы.

**Ключевые слова:** вальцовая формовка, гнутый профиль, наклонный гофр, излом, анизотропия, потеря устойчивости.

**O. B. АХЛЕСТИН, В. М. ЛЕВЧЕНКО****ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ТОНКОСТІННОЇ БАЛКИ  
КОРОБЧАТОЇ ФОРМИ З НАХИЛЕНИМИ ГОФРАМИ НА БІЧНИХ СТІНКАХ**

Відзначається інтенсивний розвиток виробництва тонкостінних гнутих профілів з рулонного прокату з сучасними покриттями. Найбільші обсяги металлопродукції використовує будівництво (балки, стійки, розкоси та ін.). У зв'язку зі схильністю тонкого металу до дефектоутворення розглянуто способи зміцнення як заготовки, так і безпосередньо профілю, що формується в вальцах. З'ясовано причини та природа утворення різних зламів, в тому числі періодично повторюваних. Злами профілю на полицях, що підгинаються, мають вигляд вигнутих несиметричних гофрів. Відкритою частиною вони розташовані на кромці полки, а тією, що сходиться – з'єднані з місцем згину полки зі стінкою. Злами на бічних стінках, обмежені місцями її згину з полицею і нижньою стінкою, утворюють відносно прямі глухі гофри, розташовані під кутом приблизно 45°. Відстані між гофрами (крок) однакові і дорівнюють висоті профілю. Таким чином, злами на полиці і злами на стінці виникають в результаті локальної втрати стійкості металу. Причиною цього є посилення режиму формування. Злами на полиці спотворюють форму і розміри не тільки її самої, але і профілю в цілому (поздовжній і поперечний вигини), будучи дефектними ознаками. Злами ж у вигляді прямих гофрів, розташованих на лініях найбільших дотичних напружень стінок профілю і є, по суті елементами, що зміцнюються, називати дефектами некоректно. Особливості технології виготовлення балки коробчастої полягають в наступному. Сама наявність нахилених гофрів на профілі можна вважати особливістю, оскільки до цього часу не зустрічалися на практиці профілі, вироблені формуванням в вальцах з такими гофрами. Вперше запропоновано отримані шляхом втрати локальної стійкості стінки нахилені гофри розглядати як елементи, що зміцнюють профіль.

**Ключові слова:** валькова формовка, гнутий профіль, нахилений гофр, злам, анизотропія, втрата стійкості.

**O. V. AKHLESTIN, V. M. LEVCHENKO****THE FEATURES OF THE TECHNOLOGY OF MANUFACTURING THIN-WALL BOX-SHAPED  
BEAM WITH TILTED CORRUGATIONS ON SIDE WALLS**

There has been the intensive development of the production of thin-walled cold roll profiles from rolled steel with modern coatings. The largest volumes of metal products are used by the building industry (beams, struts, braces, etc.). Due to the tendency of thin metal to defect formation the methods of hardening both the workpiece and directly the profile formed in the rolls are considered. The reasons and essence of the formation of various fractures, including those periodically repeated, have been found out. The kinks on the bendable boards of the profile have the appearance of curved asymmetrical corrugations. The open part of them is located on the edge of the board and converging ones connected with the place of bend of the board with the wall. The kinks on the side walls, limited by the places of its bend with the board and the bottom wall, form relatively straight blind corrugations located at an angle of about 45°. The distances between the corrugations (step) are the same ones and equal to the height of the profile. Thus, the kinks on the board and the kinks on the wall are originated due to the local loss of stability of the metal. The reason for this is the tightening of the forming mode. The kinks on the board distort the shape and size not only of board itself, but also of the profile as whole (lengthwise and cross bends), being the defective signs. The kinks in the form of straight corrugations located on the lines of the greatest tangential stresses of the profile walls and which, in essence, reinforcing elements, are not correctly called as defects. The features of the manufacturing technology of the box-shaped beam are as follows. The presence of tilted corrugations on the profile itself can be considered as feature, because until now the profiles produced by cold roll forming with such corrugations have not been found in practice. For the first time it is proposed to consider tilted corrugations obtained by loss of local stability of a wall as elements reinforcing the profile.

**Keywords:** roll forming, cold roll profile, tilted corrugation, fracture, anisotropy, loss of stability.

**Введение.** В настоящее время сортамент гнутых профилей расширяется преимущественно в направлении уменьшения толщины металла, увеличения габаритных размеров с усложнением конструкции изделий и использования современных покрытий. С уменьшением толщины металла в большей степени проявляются дефекты формообразования металла, в том числе дефекты пространственной формы

© А. В. Ахлестин, В. Н. Левченко, 2018

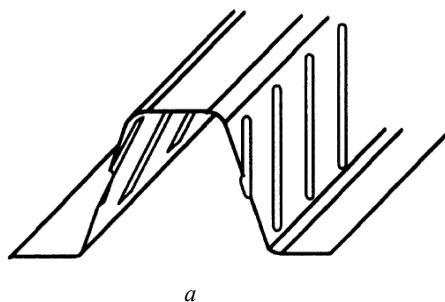
профиля (прогиб продольный и боковой, винтообразное скручивание, волнистость кромки, концевые эффекты, гофры на его элементах, изломы). Для повышения жесткости тонкостенного профиля на нём выполняют различные упрочняющие элементы: отбортовки, дополнительные продольные места изгибов, элементы двойной и тройной толщины металла, гофры, пуклевки, замковые соединения и пр. Все эти меры должны быть направлены на решение основной задачи – повышения качества продукции.

Технология изготовления гнутых профилей коробчатой формы в целом разработана достаточно полно [1–4], их производство осуществляется на большинстве предприятий-производителей гнутых профилей.

**1. Постановка задачи.** Стремление к повышению эффективности производства вынуждает некоторых изготовителей интенсифицировать процесс формовки профилей. С этой целью применяют профилегибочное оборудование с относительно небольшим количеством рабочих клетей и недостаточным расстоянием между ними, а также увеличенные углы подгибки элементов формируемых профилей. Естественно, без соответствующей квалификации и опыта работы получение должного качества профилей при этом не представляется возможным. На это их решение повлияло, по-видимому, широко разрекламированная Ульяновская разработка – «МИД» (метод интенсивного деформирования) [4]. Он предназначен для использования при изготовлении мелкосерийных партий гнутых профилей.

Поскольку в современных условиях надеяться на приобретение современного зарубежного оборудования не приходится, необходимо работать на уже имеющемся в наличии. При этом необходимо самим разрабатывать новые технические решения, направленные на совершенствование технологии и оборудования, делая упор на эффективные и одновременно относительно простые варианты.

Примером такой разработки из смежной области может служить способ изготовления полых цилиндрических изделий [5]. Он направлен на повышение качества изделий получаемых глубокой вытяжкой и основан на создании искусственной анизотропии.



**2. Анализ последних публикаций.** Более 20 лет приоритет в исследованиях теории и технологии гнутых профилей отдается преимущественно тонкостенным профилям. Основное внимание уделяется повышению качества продукции при сокращении затрат на ее производство [6]. С целью повышения прочностных характеристик гнутых профилей предварительно упрочняют листовую заготовку. Для этого на полосу валиками наносят в определенных по ее ширине местах продольные рифления (рис. 1). При этом выступы и впадины выполнены одинаковыми с радиусом  $R = 2$  мм. Путем локальной пластической деформации отформовываются рифления с высотой до 1,5 мм. Общая ширина заготовки при этом не изменяется. Преимуществом данного способа является возможность установки рабочей клетки с такими валиками перед первой клетью профилегибочного стана [7, 8].

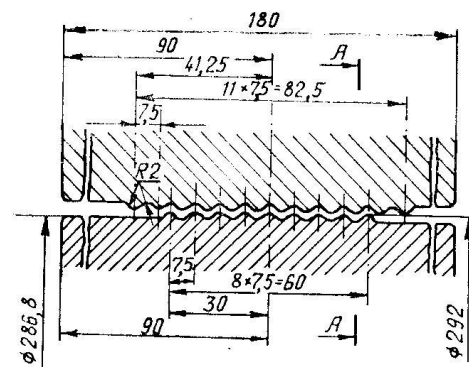


Рис. 1 – Валики для формовки рифлений [7]

В Ульяновском НИАТ [9] применяют дрессировку и обжим для предварительного деформационного упрочнения заготовки гнутого профиля в целях снижения кромковой волнистости, уменьшения вероятности появления линий Чернова-Людерса, а также для выравнивания механических свойств профиля по его сечению.

В североамериканских компаниях также применяют упрочняющие элементы на гнутых профилях [3]. Отличием этой технологии от рассмотренных выше является то, что гофры отформовывают на участках заготовки, соответствующих стенкам будущего корытного профиля (рис. 2). Направление гофров – перпендикулярно продольной оси профиля.

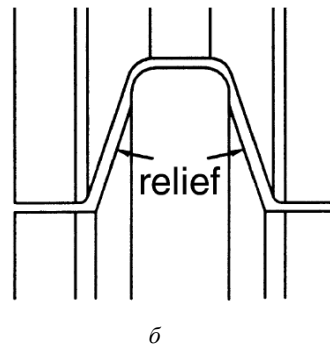


Рис. 2 – Пример выполнения корытного профиля с гофрами на боковых стенках [3]

С целью предохранения гофров от повреждения в калибрах валков общая ширина калибров выполняется больше на удвоенную высоту гофров.

Вертикальные гофры существенно повышают служебные характеристики таких профилей.

Известен способ изготовления замкнутых сварных гнутых профилей с продольными гофрами на боковых стенках [10]. Эти гофры формируются одновременно с другими элементами профиля. Они увеличивают продольную жесткость изделия.

В УкрНИИМете проведен эксперимент по получению корытного профиля при подгибке стенки под углом  $35^\circ$  в одном проходе. При этом на боковых стенках образовывались замкнутые гофры переменного сечения шириной до 10 мм и высотой до 1,5 мм, ориентированные под углом  $\sim 45^\circ$  к направлению формовки с примерно одинаковым шагом между ними (рис. 3).

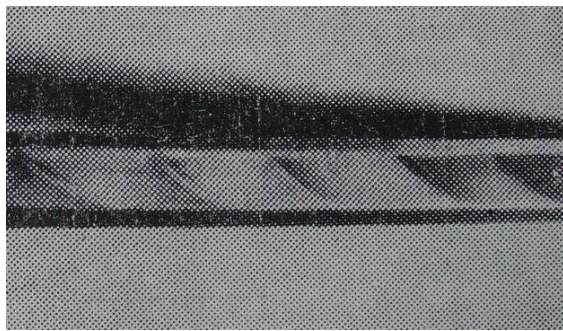


Рис. 3 – Участок стенки корытного профиля, полученный экспериментально при подгибке в одной клетки под углом  $35^\circ$  [11]

Подобный дефект описан в работе [4] при разработке технологии изготовления Т-образного профиля с жестким режимом формовки (рис. 4). Этот дефект располагается на вертикальных стенках. Его классифицируют как линии Чернова-Людерса, повреждения покрытия и локальные выпуклости металла.



Рис. 4 – Дефекты металла при формовке Т-образного профиля [4]

Целью работы является повышение служебных свойств гнутых профилей за счет формирования гофров, возникающих при потере устойчивости.

### 3. Особенности изготовления профилей.

Изломы на подгибаемых полках профиля имеют вид изогнутых несимметричных гофров. Открытой частью они расположены на кромке полки, а

сходящейся – соединены с местом изгиба полки со стенкой. Изломы на боковых стенках, ограниченные местами её изгиба с полкой и нижней стенкой, образуют относительно прямые глухие гофры, расположенные под углом примерно  $45^\circ$ . Расстояния между гофрами (шаг) одинаковые и равны высоте профиля. Таким образом, изломы на полке и изломы на стенке возникают в результате локальной потери устойчивости металла [12]. Причиной этому является ужесточение режима формовки. Изломы на полке искажают форму и размеры не только её самой, но и профиля в целом (продольный и поперечный изгибы), являясь дефектными признаками. Изломы же в виде прямых гофров, расположенных на линиях наибольших касательных напряжений стенок профиля и являющихся, по сути, упрочняющими элементами, называть дефектами не корректно.

Особенности технологии изготовления балки коробчатой заключаются в следующем. Само наличие наклонных гофров на профиле можно считать особенностью, поскольку до сего времени не встречались на практике профили, производимые формовкой в валках с такими гофрами. Предлагается полученные путем потери локальной устойчивости стенки наклонные гофры рассматривать как элементы, упрочняющие профиль.

На рис. 5 показаны периодически повторяющиеся изломы подгибаемой полки при формовке швеллера полками вниз. Угол подгибки полки  $45^\circ$ , её ширина – 40 мм. Толщина полосы – 0,5 мм. Точной зависимости между шириной полки и расстоянием между изломами не наблюдается. Излом в виде несимметричного гофра имеет несколько изогнутую форму: более широкую на кромке полки и сужающуюся выходящую к месту сопряжения полки со стенкой швеллера по излому боковой стенки коробчатого профиля. Для корытного профиля качество продукции должно быть выше, так как проблем доступа инструмента к местам изгиба практически нет. Следует отметить, что излом на полке контактирует с коническим элементом по узкой поверхности по форме сходной с вершиной этого гофра. Это можно наблюдать через прозрачный валок по методике [13].

Коробчатый профиль с гофрами на боковых стенках не только не уступает по прочностным свойствам тонкостенному профильному элементу С-образной формы с гофрами на стенке [14], а также тонкостенной металлической балке аналогичной формы и имеющей значительно больше ребер жесткости (гофров) [15], но и значительно их превосходит. Это объясняется тем, что наклонные под  $45^\circ$  гофры расположены на линиях максимальных касательных напряжений, и они заполняют всю поверхность боковых стенок. Сам же способ изготовления значительно проще и не требует каких-либо дополнительных действий, инструмента, приспособлений и пр.

На рис. 6 приведен 12 метровый профиль коробчатой формы 56x56x1,2 мм с наклонными гофрами на боковых стенках. По этой технологии произведена промышленная партия профилей «Балка коробчатой формы 56x56x1,2 мм с наклонными



гофрами на боковых стенках». Партия таких профилей была использована строительной организацией. Претензий к качеству не было.

Поскольку имеется положительный опыт такого производства его необходимо расширять и рекламировать.



Рис. 5 – Фрагмент полки швеллера с изломами в результате потери устойчивости металла



Рис. 6 – Тонкостенная балка коробчатой формы с наклонными гофрами на боковых стенках 56x56x1,2 мм

**Выводы.** Применение искусственной потери устойчивости при реализации технологии изготовления профиля «Балка тонкостенная коробчатой формы с наклонными гофрами на боковых стенках 56x56x1,2 мм» на профилегибочном стане позволило получить указанный профиль с наклонными гофрами как имеющий упрочняющие элементы.

Получение гофров осуществлялось в одном технологическом переходе совместно с подгибкой стенок, на которых они отформованы, при этом не задействовали дополнительных устройств.

Целесообразно провести исследования, направленные на определение технического эффекта применения новшества и на расширение сферы его использования.

#### Список литературы

1. Тришевский И. С., Докторов М. Е. *Теоретические основы процесса профилирования*. Москва: Металлургия, 1980. 287 с.
2. Давыдов В. И., Максаков М. П. *Производство гнутых тонкостенных профилей*. Москва: Металлургия, 1959. 240 с.
3. Halmos G. T., ed. *Roll Forming Handbook*. Boca Ration, CRC Press, 2006. 583 p.
4. Филимонов С. В. Формообразование в роликах профилегибочных станков тонкостенных многоэлементных профилей с элементами жёсткости: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.09. Самара, 2017. 475 с.
5. Бровман Т. В., Горященко А. Б., Васильев М. Г. Ухабов С. С. Пат. 2491144, Российская Федерация. *Способ изготовления полых цилиндрических изделий*. 2013.
6. Ахлестин А. В. О путях повышения качества тонкостенных гнутых профилей с покрытием. *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Тематич. зб. наук. пр.* Краматорськ: ДДМА. 2004. С. 614-619.
7. Тришевский О. И., Янчинский А. П., Дебердеев Р. Ю., Ковалёв В. И., Плеснецов Ю. А. Упрочнение и увеличение жесткости листовых заготовок методом вальковой формовки. *Теория и технология производства гнутых профилей проката*. Харьков: УкрНИИМет, 1981. С. 85-88.

8. Тришевский О. И., Бондаренко С. Н. Нанесение упрочняющих рифлений на плоские элементы гнутых профилей как фактор снижения металлоёмкости продукции. *Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства*. Харків: ХНТУСГ. 2011. Вип. 115: «Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільгосподарському виробництві». С. 31-35.
9. Филимонов С. В., Кокорина И. В., Филимонов В. И. Предварительное деформационное упрочнение заготовок при формовке гнутых профилей в роликах методом интенсивного деформирования. *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2016, № 6. С. 18-22.
10. Докторов М. Е., Пшеничная Н. В., Кириенко-Гринь Е. И., Горбач Е. Н., Олейник Г. В., Мирошниченко С. В. А. с. 1579603, СССР. *Способ изготовления замкнутых сварных гнутых профилей с гофрами на боковых стенках*. 1990.
11. Юрченко А. Б., Брыков К. С., Мар'ин В. С., Каширский С. А. Организация производства гнутых профилей для объектов энергетики. *Гнутые профили проката: Отрасл. сб. научн. тр.* Харьков: УкрНИИМет, 1987. С. 75-84.
12. Яковлев С. С., Ремнев К. С. Критерий локальной потери устойчивости ортотропного анизотропно упрочняющегося листа. *Известия Тульского гос. ун-та*. Тула: ТулГУ, 2011. Вип. 4: Технические науки. С. 109-113.
13. Левченко В. М., Ахлестин О. В. Пат. 60780, Україна. *Спосіб визначення форми і розмірів фактичної поверхні контакту взаємодіючих тіл*. 2005.
14. Ткаченко С. В., Глазунов А. Ю., Бобряшов В. М., Насонкин В. Д., Горпинченко В. М. Пат. 2203758. Российская Федерация. *Тонкостенный профильный элемент*. 2003.
15. Маслов В. К., Лютов А. М., Росляков В. Ф., Кашкинов П. П., Олейник Г. В., Смирнов Б. А., Дмитриев А. Н. Пат. 2137891, Российская Федерация. *Тонкостенная металлическая балка*. 1999.
- thematic collection of scientific papers]. Kramatorsk, DDMA Publ. 2004, pp. 614-619.
7. Trishevskiy O. I., Yanchinskiy A. P., Deberdeev R. Yu., Kovalev V. I., Plesnetsov Yu. A. Uprochnenie i uvelichenie zhestkosti listovikh zagotovok metodom valkovoy formovki [The hardening and increasing stiffness of the sheets blanks by the method of roll forming]. *Teoriya i tekhnologiya proizvodstva gnutykh profiley prokata* [The theory and technology of production of cold roll profiles]. Kharkov, UkrNIIMet Publ., 1981, pp. 85-88.
8. Trishevskiy O. I., Bondarenko S. N. Nanesenie uprochnyayushchikh rifleniy na ploskie elementy gnutykh profiley kak faktor snizheniya metalloemkosti produktsii [The application of reinforcing riffls on flat elements of cold roll profiles as the factor in reducing the metal intensity of products]. *Visnyk Kharkivskoho Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva* [The bulletin of the Kharkov National Technical University of Agriculture]. Kharkiv, KhNTUSH Publ. 2011, issue 115: «Tekhnichniy servis APK, tekhnika ta tekhnolohii u silhospodarskomu vyrobnytvu» [«The technical service of the agro-industrial complex, equipment and technology in agricultural production»], pp. 31-35.
9. Filimonov S. V., Kokorina I. V., Filimonov V. I. Predvaritel'noe deformatsionnoe uprochnenie zagotovok pri formovke gnutykh profiley v rolikakh metodom intensivnogo deformirovaniya [The preliminary strain hardening of blanks under cold roll forming profiles in rollers by intensive deformation]. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya* [The strengthening technologies and coatings]. 2016, issue 6, pp. 18-22.
10. Doktorov M. E., Pshenichnaya N. V., Kirienko-Grin' E. I., Gorbach E. N., Oleynik G. V., Miroshnichenko S. V. *Sposob izgotovleniya zamknytykh svarnykh gnutykh profiley s goframami na bokovykh stenkakh* [The method of manufacturing closed welded cold roll profiles with corrugations on the side walls]. Copyright certificate USSR, no 1579603, 1990.
11. Yurchenko A. B., Brykov K. S., Mar'in V. S., Kashirskiy S. A. Organizatsiya proizvodstva gnutykh profiley dlya ob'ektov energetiki [The organization of production of cold roll profiles for energy facilities]. *Gnutye profili prokata: Otrasl. sb. nauchn. tr.* [The cold roll profiles: The branch collection of scientific papers]. Kharkov: UkrNIIMet Publ., 1987, pp. 75-84.
12. Yakovlev S. S., Remnev K. S. Kriteriy lokal'noy poteri ustoychivosti ortotropnogo anizotropno uprochnyayushchegosya lista [The criterion of local loss of stability of orthotropic anisotropic hardening sheet]. *Izvestiya Tul'skogo gos. un-ta* [The news of Tula State University]. Tula, TulGU Publ., 2011, issue. 4: Tekhnicheskie nauki [The technical science], pp. 109-113.
13. Levchenko V. M., Akhlestin O. V. *Sposib vyznachennia formy i rozmiriv faktychnoi poverkhni kontaktu vzaemodiuyuchykh til* [The method for determining the shape and size of the actual contact surface of the interacting bodies]. Pat. UA, no 60780, 2005.
14. Tkachenko S. V., Glazunov A. Yu., Bobryashov V. M., Nasonkin V. D., Gorpichenko V. M. *Tonkostennyi profil'nyy element* [The thin-walled profile element]. Pat. RF, no 2203758, 2003.
15. Maslov V. K., Lyutov A. M., Roslyakov V. F., Kashkinov P. P., Oleynik G. V., Smirnov B. A., Dmitriev A. N. *Tonkostennaya metallicheskaya balka* [The thin-walled metal beam]. Pat. RF, no 2137891, 1999.

Поступила (received) 31.10.2018

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Ахлестін Олександр Володимирович (Akhlestin Oleksandr Volodymyrovych)** – директор ТОВ «Роллформ», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3627-0937>; e-mail: form2@i.ua

**Левченко Володимир Миколайович (Levchenko Vladimir Nikolaevich, Levchenko Volodymyr Mykolayevich)** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Донбаська державна машинобудівна академія, докторант кафедри обробки металів; м. Краматорськ, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2411-4198>; e-mail: goldangel271@gmail.com